

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-174681

(43)公開日 平成10年(1998) 6月30日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

A 6 1 B 5/055

A 6 1 B 5/05

3 3 1

G 0 1 R 33/383

H 0 1 F 7/02

D

H 0 1 F 7/02

G 0 1 N 24/06

5 1 0 P

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平8-337055

(22)出願日 平成8年(1996)12月17日

(71)出願人 000002060

信越化学工業株式会社

東京都千代田区大手町二丁目6番1号

(72)発明者 大橋 健

福井県武生市北府2丁目1番5号 信越化

学工業株式会社磁性材料研究所内

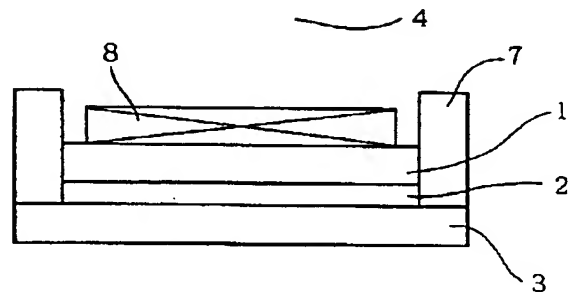
(74)代理人 弁理士 山本 亮一 (外1名)

(54)【発明の名称】 永久磁石磁気回路

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 高磁場均一度、低渦電流、低残留磁化の磁気特性値を満たす事のできる磁石対向型永久磁石磁気回路を提供する。

【解決手段】 空隙を介して一对の永久磁石が対向し、該空隙側表面に整磁作用を有する整磁板とコイルを配置し、該永久磁石を継鉄にて結合してなる磁石対向型永久磁石磁気回路において、該整磁板の構造が少なくとも3つ以上の複数の磁性材の積層よりなり、該空隙側から見て相対的に飽和磁化が低く電気抵抗の高い材料から、徐々に飽和磁化が高く電気抵抗の低い材料に変化し、少なくとも3層以上の積層構造を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 空隙を介して一対の永久磁石が対向し、該空隙側表面に整磁作用を有する整磁板とコイルを配置し、該永久磁石を継鉄にて結合してなる磁石対向型永久磁石磁気回路において、該整磁板の構造が少なくとも3つ以上の複数の磁性材の積層よりなり、該空隙表面側から見て相対的に飽和磁化が低く電気抵抗の高い材料から、徐々に飽和磁化が高く電気抵抗の低い材料に変化し、少なくとも3層以上の積層構造を有することを特徴とする永久磁石磁気回路。

【請求項2】 請求項1の記載において、該整磁板を構成する材料が、空隙側より、フェライト、磁性薄板、鉄板で、フェライトは飽和磁化5500G以上、保磁力0.1 Oe以下を有する軟磁性材、磁性薄板は飽和磁化12000 G以上、保磁力0.5 Oe以下で0.5 mm以下の厚みを有する軟磁性薄板材、鉄板は飽和磁化18000G以上、保磁力5 Oe以下の低炭素鋼か純鉄で、該整磁板を構成する各材料間は2種以上の方法で固着されている永久磁石磁気回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は永久磁石磁気回路に関するものであり、永久磁石型MRI装置のバイアス磁場発生用に用いて最適である。

【0002】

【従来の技術】永久磁石磁気回路をバイアス磁場発生用マグネットとして用いたMRIは、磁場発生のため電磁石のように電力や冷却水などのランニングコストが必要なく、超電導マグネットのように液体ヘリウムの補給も必要ないため、維持管理が楽で非常に使用しやすい装置である。ただし、永久磁石型マグネットによる磁場強度は超電導マグネットほど高くできないため、相補的に用いられる。永久磁石型マグネットとしては、磁石対向型と、ダイポールリング型が良く知られている。ダイポールリング型は本質的に永久磁石のみにより構成されているので、磁石構成が簡素化でき、全体重量も小さくすることができる。しかし、磁石対向型と比較したとき、空隙磁場強度 0.2T前後まではダイポールリング型の方が永久磁石の使用重量が多く、コスト面で不利になる。また、ダイポールリング型は円筒マグネット内部の空間を使用するため、磁石対向型と比較したとき、開放性の点で劣っている。これらの点から、現在では磁石対向型の方が主に用いられている。

【0003】磁石対向型マグネットの概略構成は図2に示されている。磁石対向型では空隙14を介して永久磁石15を対向させ、磁場均一性を得るために、永久磁石の空隙側表面に整磁板16と呼ばれる軟磁性ヨークが設けられる。整磁板の一般的形状は円盤状で、外周部に環状の突起17（第1シムまたはローズシム）を有し、凹部にも必要に応じて段差を設けている。外周部の第1シ

ム17は、空隙空間における均一領域の赤道部の磁場均一性を得るため必要である。また、該整磁ヨーク16の更に空隙側表面に勾配コイル18が配置されている。該勾配コイルには矩形波状のパルス電流が印加され、空隙空間内に短時間の間、線形の勾配磁場を発生させることを目的としている。該勾配コイルによるパルス磁場と磁性整磁板の相互作用が、磁石対向型マグネットの性能を左右する大きな原因の一つとなる。相互作用には二つの側面があり、一つはパルス磁場により整磁板に発生する渦電流であり、もう一つはパルス磁場による整磁板の着磁である。整磁板に発生する渦電流、残留磁化ともに、均一空間の磁場均一性（または磁場勾配の線形性）を乱すことが問題である。前者の渦電流に対する対策は明確で、整磁板の材質の電気抵抗を高めるか、整磁板構造により実効的な整磁板の電気抵抗を高くすればよい。高電気抵抗化材質には軟磁性フェライトのような絶縁体に近い材質が適しており、構造による高電気抵抗化には、鉄薄板や珪素鋼板薄板積層構造が適している。もちろん、薄板間は何等かの形で絶縁されていなければならない。

【0004】より対策が困難なのは後者（以下では残留磁化と呼ぶ）である。整磁板材質は整磁作用を持たせるため、軟磁性でなくてはならない。しかし、磁性材料である限り、磁場印加により磁化はヒステリシス上を動くため、程度の差はあれ、パルス磁場による整磁板の着磁は避けられない。これを低減するため様々な提案がなされている。特開昭63-25907号公報、特開平4-23411号公報には軟磁性フェライトを使用することが提案されており、特開昭61-203605号公報、特開昭63-241905号公報、特開平1-304709号公報、特開平2-2603号公報には珪素鋼板を使用することが提案されている。また、特開平4-82536号公報、特開平5-182821号公報、特開平6-251930号公報には、珪素鋼板と鉄ヨークを併用した構造の整磁板が提案されており、それぞれ残留磁化低減の効果がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上の磁場均一性、渦電流、残留磁化の三つの磁場仕様を両立させるのは容易ではない。例えば、渦電流と残留磁化の仕様を満たすためフェライトを使用した場合、フェライトの飽和磁化が低いため、磁場均一性が満たされない。磁場均一性と渦電流の仕様を満たすため、珪素鋼板を使用した場合、軟磁性の程度がフェライトより低いため、必ずしも残留磁化の仕様は満足されない。鉄板では磁場均一性は満たされるが、その他の項目は満足されない。フェライト、珪素鋼板（軟磁性薄帯）、鉄板を積層することも提案されているが（特開平5-182821号公報参照）実際はフェライトと磁性薄帯のような異種材料を積層することは容易ではなく、実現されていない。残留磁化低減対策として、整磁板材質・構造による改良とは異なり、整磁

板中に勾配磁束が侵入しないようにするのが有効で、渦電流と残留磁化の問題を改善することも行われている。勾配コイルと整磁板との間に打ち消しコイルを設けるか、高伝導性非磁性板(Al板、Cu板)を設けることにより整磁板に勾配磁束を侵入させないようにする。この方法の欠点は、同一強度の勾配磁場を印加するためには、大きなパルス電流を印加する必要があることである。なぜなら、勾配コイルと軟磁性整磁板の磁気的な結合がなくなるので、磁場のエンハンス効果がないためである。また、高伝導性非磁性板による勾配磁束の整磁板侵入遮断では、大きな渦電流が非磁性板に流れるため、何らかの渦電流補正を電気回路上でソフト的に行う必要が生じ、システムが複雑になる。以上述べたように、MRI用磁石対向型磁気回路の整磁板の構造・材質は、マグネット仕様を満たすための最重要な部材であるにも拘らず、必ずしも全ての仕様を満たす事ができていなかった。磁場均一度、渦電流、残留磁化の全ての仕様を満足する整磁板構造と材質が望まれている。本発明は、高磁場均一度、低渦電流、低残留磁化の磁気特性値を満たす事のできる磁石対向型永久磁石磁気回路を提供するものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】すなわち本発明は、空隙を介して一對の永久磁石が対向し、該空隙側表面に整磁作用を有する整磁板とコイルを配置し、該永久磁石を継鉄にて結合してなる磁石対向型永久磁石磁気回路において、該整磁板の構造が少なくとも3つ以上の複数の磁性材の積層よりなり、該空隙表面側から見て相対的に飽和磁化が低く電気抵抗の高い材料から、徐々に飽和磁化が高く電気抵抗の低い材料に変化し、少なくとも3層以上の積層構造を有することを特徴とするものである。以下に、これをさらに詳述する。

【0007】

【発明の実施の形態】本発明は、高磁場均一度、低渦電流、低残留磁化の磁気特性値を満たす磁石対向型永久磁石磁気回路、取り分け該磁場仕様を満足するための整磁板構造と材質に関するものである。さらに本発明の整磁板は、該整磁板を構成する異なる各材質の、フェライトと薄板、薄板と鉄板の間が、それぞれ2種以上の方法により固着されてなる。添付の図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。本発明の整磁板は、構造が3つ以上の磁性材の積層よりなり、該空隙表面側から見て相対的に飽和磁化が低く電気抵抗の高い材料から、徐々に飽和磁化が高く電気抵抗の低い材料に変化し、少なくとも3層以上の積層構造を有する。より具体的には、例えば図1に示すように、空隙表面4側から軟磁性フェライト1、軟磁性薄板2、鉄板3の積層構造を有するハイブリッド構造をなしている。なお図1において、8は勾配コイル、7は環状突起を示す。環状突起は軟磁性材であればよい。

【0008】軟磁性フェライトは電気抵抗が高く軟磁性であるので、パルス勾配磁場を印加した時、整磁板に渦電流が流れるのを抑制することができる。また、軟磁性であるので、コイルと整磁板の磁気的な結合が生じて、コイルのみの場合より勾配磁場をエンハンスできると共に、低い残留磁化値を実現できる。結果として、少ないパルス電流で目的の磁場勾配を達成でき、磁場勾配の線形性が渦電流や残留磁化で乱される事は少ない。軟磁性フェライトとしては、MnZnフェライト、NiZnフェライトなどがあるが、より飽和磁化の高いMnZnフェライトの方が、パルス勾配磁束による飽和が生じにくく、飽和磁化としては5500G以上が、保磁力は0.1 Oe以下が望ましい。飽和磁化が5500Gより低いと、永久磁石の磁束による飽和が生じて、磁場均一性が得られにくくなる。保磁力が0.1 Oeより大きいと、勾配磁場を印加した時の残留磁化が大きくなるため、好ましくない。

【0009】中間の軟磁性薄帯は、永久磁石によるバイアス磁束と勾配コイルによるパルス勾配磁束の両方の磁束の通り道として寄与している。軟磁性薄帯としては、珪素鋼板、アモルファス軟磁性薄帯(Fe系やCo系)、パーマロイ薄帯、軟磁性鉄板・鉄合金などが用いられる。軟磁性薄帯は永久磁石によるバイアス磁束の通り道として作用し、その軟磁性により空隙中の評価空間内の磁場均一性を向上させる。より具体的には第1シムへのバイアス磁束の通り道として働く。一方、パルス勾配磁場を印加した時、勾配磁束は軟磁性フェライトを主に通るが、ある一定割合は深さ方向に侵入して、中間層の軟磁性薄帯中を通る。このため軟磁性フェライト程ではないが、軟磁気特性とバイアス磁束の通り道として高い飽和磁化が要求される。また、パルス勾配磁場の影響があるため、薄帯を積層する時、薄帯間は絶縁されていなければならない。これら両方の要求を満足するのは、既に列挙したような金属系の軟磁性薄帯である。該両特性を満たすため、飽和磁化 12000G以上、保磁力0.5 Oe以下が望ましい。それ以外の特性領域の磁性材料では、バイアス磁束と勾配磁束の両方の要求を満たす事ができない。

【0010】永久磁石に接した鉄板にはパルス勾配磁場の影響は及ばないので、バルク形状でよい。また、フェライトや磁性薄帯を保持する役割があるためにもバルク形状は必要である。磁気的には、永久磁石によるバイアス磁束の通り道として働くため、飽和磁化が高く(18000 G以上)、軟磁気特性(保磁力が5 Oe以下)を有する純鉄や低炭素鋼が望ましい。この範囲以外であると、バイアス磁束がより多くフェライトや磁性薄板層を流れるため、望ましくない。FeCo合金なども使用可能であるが、値段が高いためと加工が難しいため、あまり望ましくはない。

【0011】フェライト、軟磁性薄帯、バルク鉄板の複数材料よりなるハイブリッド整磁板は、既に知られてい

る材料を組み合わせたものであるが、これらの異種複数材料を一体化する事は容易ではない。接着剤で全て固着する事が最も簡便であるが、接着剤は長期安定性が必ずしも十分といえない。本用途では、整磁板のフェライトや薄帯は扁平形状であるため絶えず磁場による回転トルクを感じているため、接着剤の長期信用性がより問題となる。一方、ボルト・ナットにより締結すれば機械的信頼性は大幅に向上する。しかし、フェライトはセラミックなのでボルト締結による局所応力のため破損の可能性が否定できず、信頼性に問題が残る。また、ボルトやナットが局所的に渦電流を生じ、渦電流補正が難しくなる。電気・ガス溶接などは温度上昇とセラミック／金属の固着には適さないため、使用できない。このようにセラミックと金属系の異種複数材料の組み合わせは机上での検討はともかく、現実にはかなり困難である。

【0012】本発明は、整磁板におけるセラミックと金属系の異種複数材料の組み合わせを実現するため、複数の固着方法を組み合わせて一体化するものであり、取り分け軟磁性フェライトと軟磁性金属薄帯の間を、接着剤と超音波接合を組み合わせる事を提案するものである。セラミックと金属との接合には、ロウ付けや拡散接合なども有り得るが、軟磁性フェライトに高温を印加すると磁気特性が変化するため好ましくない。このため、温度が上がりにくく異種材料の接合に優れた超音波接合が望ましい。また、超音波接合のみでは全面を固着できないので、接着剤と組み合わせる事により、信頼性が著しく向上する。接着剤はエポキシ系が接着強度と対候性に優れており望ましいが、シリコン系も対候性に優れ柔軟性も有しているので使用できる。磁性薄帯同士はカシメたりネジによる締結を利用すればよく、接着剤や端面溶接を利用すればより信頼性が向上する。鉄板と磁性薄帯間の固着もネジと接着剤を併用すればよい。もちろん、更に超音波接合なども併用する事は可能である。磁性薄帯や鉄板にネジ・ボルトが使用できるのは、パルス勾配磁場の侵入が少ないかほとんどないため、渦電流の影響が少ないためである。

【0013】フェライト、磁性薄帯、鉄板の各層の厚みの比率は、バイアス磁場強度やパルス磁場強度に依存するため、一概には言えない。一般的には、バイアス磁場強度が高い時は、鉄板・磁性薄帯を相対的に厚くし、またパルス勾配磁場の勾配が強く、勾配磁束が多い時はフ

ェライト層・磁性薄帯層を厚くする必要がある。フェライト及び鉄板の厚みは特に限定されないが、磁性薄帯1枚の厚みは、渦電流抑制の理由から、0.5 mm以下が望ましい。

【0014】

【実施例】本発明の実施例を以下に示す。

実施例

図1のように、勾配コイル8を配置し、環状突起7を有する整磁板の材質や構造が3種の磁性材の積層よりなり、空隙4側よりフェライト1、磁性薄板2（0.5 mmの積層）、鉄板3の積層構造を有する該整磁板を構成した。フェライトとしては飽和磁化5500 G、保磁力0.05 Oeを有する軟磁性材MnZnフェライト、磁性薄板としては飽和磁化 15000 G、保磁力0.3 Oeで 0.5mmの厚みを有する珪素銅板薄板、鉄板は飽和磁化 20000 G、保磁力4 Oeの低炭素鋼とした。さらに、該整磁板を構成するフェライトと磁性薄板の間をエポキシ系接着剤と超音波接合、磁性薄板同士の間をカシメ、鉄板と磁性薄板の間をボルト締結とエポキシ系接着剤で固着する事により、磁気特性仕様（2000 G、均一空間φ400で磁場均一度 50ppm以下、残留磁化変化 10ppm以内）を満足する磁石対向型永久磁石磁気回路を実現することができた。

【0015】

【発明の効果】本発明によれば、磁場均一性、渦電流、残留磁化を仕様の範囲に収め、両立させる事が可能となった。

【図面の簡単な説明】

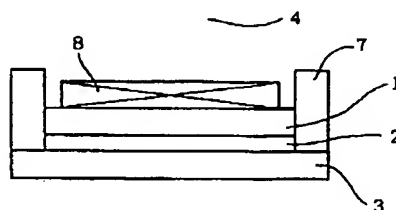
【図1】本発明の永久磁石磁気回路の実施例を示す整磁板の縦断面概略図である。

【図2】従来の磁石対向型永久磁石磁気回路の斜視概略図である。

【符号の説明】

1	.....	フェライト	2	.....
		軟磁性積層薄板		
3	.....	鉄板	4、14	..
		..空隙		
7、17	....	環状突起	8、18	..
		..勾配コイル		
16	.....	整磁板（磁性ヨーク）	15	.....
		磁石		
19	.....	継鉄		

【図1】



【図2】

